

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-274082

(43)Date of publication of application : 18.10.1996

(51)Int.Cl.

H01L 21/3065

G23F 4/00

G01B 11/06

(21)Application number : 08-073862

(71)Applicant : INTERNATL BUSINESS MACH  
CORP <IBM>  
SOFIE INSTR

(22)Date of filing : 28.03.1996

(72)Inventor : CORONEL PHILIPPE  
CANTELOUP JEAN

(30)Priority

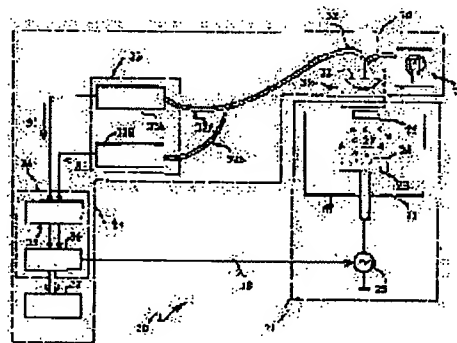
Priority number : 95 95480031 Priority date : 31.03.1995 Priority country : EP

## (54) METHOD AND DEVICE FOR MONITORING FINAL POINT OF DRY ETCHING

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To decrease the dielectric film on a substrate to the specified thickness by projecting the light including two kinds of the specified wavelengths at an incident right angle, and detecting the basic signal formed by the reflected signal at the specified extremal value for every wavelength.

**SOLUTION:** A light source 28 applies light on a wafer through an optical cable 30. At this time, at least two kinds of specified wavelengths L1 and L2 are used. It is indispensable that L1 and L2 are larger than  $4 \times N \times e$ . Here, N is the refractive index, and (e) is the error of the film thickness. The reflected light from the surface of the wafer 24 is detected by an optical cable 32. The optical cables 30 and 32 observe the wafer 24 at the incident light angle. At this time, the analog interference signals are respectively outputted from the amplifier sections of spectrometers 33A and 33B, to which the optical cable 32 is connected, are applied on a processing/analyzing unit 34, and basic signals S1 and S2 are generated. By control line 38, the etching process is automatically switched off at the final-point detected time when the intended thickness is achieved.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平8-274082

(43) 公開日 平成8年(1996)10月18日

(51) Int.Cl. <sup>8</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/3065			H 0 1 L 21/302	E
C 2 3 F 4/00			C 2 3 F 4/00	F
G 0 1 B 11/08			G 0 1 B 11/08	G

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 20 頁)

(21) 出願番号 特願平8-73862

(22) 出願日 平成8年(1996)3月28日

(31) 優先権主張番号 95480031.4

(32) 優先日 1995年3月31日

(33) 優先権主張国 フランス (F R)

(71) 出願人 390009531

インターナショナル・ビジネス・マシー  
ズ・コーポレーション

INTERNATIONAL BUSIN  
ESS MASCHINES CORPO  
RATION

アメリカ合衆国10504、ニューヨーク州  
アーモンク (番地なし)

(71) 出願人 596042774

ソフィー・インストルメンツ  
フランス91290 アルバジョン ルート・  
デグリ7

(74) 代理人 弁理士 合田 潔 (外2名)

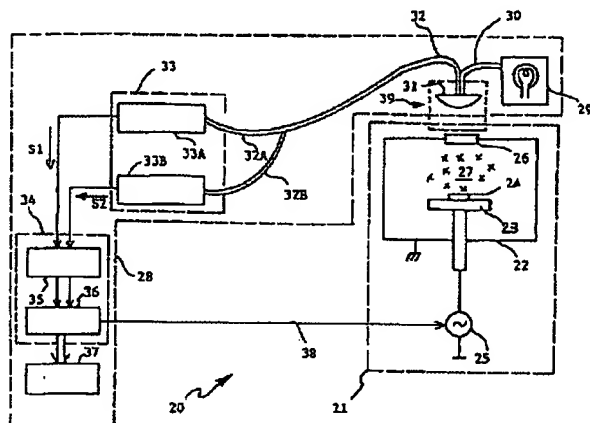
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ドライ・エッチング終点監視方法およびそのための装置

(57) 【要約】

【課題】 基板上に形成された誘電フィルム（公称厚Eと屈折率Nを有する）を含む構造を所与の厚さまで低減するドライ・エッチングにおいて、所望のエッチ終点を検出するための方法および装置を提供する。

【解決手段】 構造は、のぞき窓が設けられたエッチング装置の処理室内に置かれる。光源から、 $4 \times N \times e$ （ただし、 $e$ は厚さの誤差である）より大きい少なくとも2種類の波長を含む光を直角入射角で前記構造に照射する。反射した光は、各波長に調整された分光計に印加され、基本信号が生成される。所定の遅延後、各波長ごとに、基本信号の指定の極値が検出され、次に所定の数の極値がカウントされ、最後の極値に達したときに停止する。前記最後の極値と前記所与の厚さとの間の距離D及びエッチング速度ERからエッチング処理の残りの時間 $dt$  ( $dt = D/ER$ ) が求められる。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】基板上に形成した誘電フィルムを有する構造をエッチングし、プロセス変動による公称厚 $E$ と屈折率 $N$ の誤差がどのようなものであっても、前記誘電フィルムの所与の厚さ $E_f$ に達すると前記エッチングを自動的に終了することのできるエッチング・システムにおいて、

(a) のぞき窓を有し、エッチ処理のために前記構造を受け入れるエッチ処理室と、

(b)  $4 \times N \times e$  (ただし、 $e$ は厚さの誤差である) に等しい最小値より大きい少なくとも2種類の波長を含む光を発生する光源手段と、

(c) 前記のぞき窓からほぼ直角入射角で前記のぞき窓を介して前記構造の表面を照射するために前記光源手段からの光を移送し、前記構造から反射した光を集める光学手段と、

(d) 前記光学手段に接続されて、各々の前記波長について、反応時間につれて変動する前記反射した光の強度に対応するアナログ干渉信号に変換する分光計手段と、

(e) 信号処理／分析手段とを含み、前記信号処理／分析手段は、

前記アナログ信号からデジタル基本信号を生成するために前記アナログ干渉信号をデジタル化する手段と、エッチング・プロセスが始まってから所定の時間軽視周期または評価時間後に、前記基本信号の指定の極値を定義する、前記基本信号の分析を開始する手段と、前記指定の極値から所与の厚さ $E_f$ が達成される直前の前記基本信号の最後の極値までの極値の数をカウントする手段と、

前記基本信号の前記最後の極値と前記所与の厚さとの間の距離を決定する手段と、

前記基本信号によってエッチング速度を現場ならびにオンラインで測定する手段と、

前記波長のどちらが前記誘電フィルムの組成に最も適合しているかを識別するために前記基本信号の波形の対称性と前記エッチング速度の変動を分析し、対応する基本信号／波長の組合せを選択する手段と、

前記選択された基本信号について残りの時間を決定する手段と、

前記残りの時間が経過したときに前記エッチングを終了する手段とを含むことを特徴とする、システム。

【請求項2】前記信号処理／分析手段で行われる所与の操作が、数値ろ波によって前記基本信号から得られる微分信号について行われることを特徴とする、請求項1に記載のシステム。

【請求項3】前記光源手段が複数波長光源から構成されることを特徴とする、請求項1に記載のシステム。

【請求項4】前記複数波長光源が、水銀ランプ、ハロゲン・ランプ、キセノン・ランプを含む多色光源の群から選択されることを特徴とする、請求項3に記載のシステ

ム。

【請求項5】前記複数波長光源が、それぞれが所定の波長を有する複数の単色レーザから構成されることを特徴とする、請求項3に記載のシステム。

【請求項6】前記光学手段が、本質的に集光レンズから構成される投射光学系を含むことを特徴とする、請求項1に記載のシステム。

【請求項7】エッチング装置ののぞき窓が設けられた処理室内に置かれた構造のエッチングを監視する装置であって、前記構造が基板上に形成した誘電フィルムを有し、プロセス変動による公称厚 $E$ と屈折率 $N$ の誤差がどのようなものであっても、前記誘電フィルムの所与の厚さ $E_f$ に達すると前記エッチングを自動的に終了するための装置において、前記装置が

(a) その値が $4 \times N \times e$  (ただし、 $e$ は厚さの誤差である) に等しい最小値より大きい少なくとも2種類の波長を含む光を発生する光源手段と、

(b) 前記のぞき窓からほぼ直角入射角で前記構造の表面を照射するために前記光源手段からの光を移送し、前記構造から反射した光を集める光学手段と、

(c) 前記光学手段に接続されて、前記波長のそれぞれについて、反応時間につれて変動する前記反射した光の強度に対応するアナログ干渉信号に変換する分光計手段と、

(d) 信号処理／分析手段とを含み、前記信号処理／分析手段が、

前記アナログ干渉信号からデジタル基本信号を生成するために前記アナログ干渉信号をデジタル化する手段と、

エッチング・プロセスが始まってから所定の時間軽視周期または評価時間後に、前記基本信号の指定の極値を定義する、前記基本信号の分析を開始する手段と、

前記指定の極値から所与の厚さ $E_f$ が達成される直前の前記基本信号の最後の極値までの極値の数をカウントする手段と、

前記基本信号の前記最後の極値と前記所与の厚さとの間の距離を決定する手段と、

前記基本信号によってエッチング速度を現場ならびにオンラインで測定する手段と、

前記波長のどちらが前記誘電フィルムの組成に最も適合しているかを識別するために前記基本信号の波形の対称性とエッチング速度の変動を分析し、対応する信号／波長の組合せを選択する手段と、

前記選択された基本信号について残りの時間を決定する手段と、

前記残りの時間が経過したときに前記エッチング処理を終了する手段とを含むことを特徴とする、装置。

【請求項8】信号処理／分析手段で行われる所与の操作が、数値ろ波によって基本信号から得られる微分信号について行われることを特徴とする、請求項7に記載の装

置。

【請求項9】前記光源手段が複数波長光源から構成されることを特徴とする、請求項7に記載の装置。

【請求項10】前記光学手段が、本質的に集光レンズから構成される投射光学系を含むことを特徴とする、請求項7に記載の装置。

【請求項11】基板上に形成した公称厚Eと屈折率Nの誘電フィルムから構成される構造のドライ・エッチングのために、プロセス変動による厚さの誤差 $\epsilon$ と屈折率の誤差 $n$ がどのようなものであっても、前記誘電フィルムの所与の厚さE fにおけるエッチ終点判定基準を決定する方法において、

(a) エッチング装置ののぞき窓が設けられた処理室内に前記公称厚Eを有する前記構造を置くステップと、

(b) その値が $4 \times N \times \epsilon$  (ただし、 $\epsilon$ は仕様に表示された構造の厚さの誤差である) に等しい最小値より大きい少なくとも2種類の波長を含む光によって前記構造の表面を照射するステップと、

(c) 各々の前記波長について、分光計手段に反射した光を印加し、反応時間につれて変動するその強度を対応するアナログ干渉信号に変換するステップと、

(d) 前記アナログ干渉信号からデジタル基本信号を生成するために前記アナログ干渉信号をデジタル化するステップと、

(e) 前記基本信号を分析して、評価時間パラメータおよびストップ厚パラメータから構成される前記エッチ終点判定基準を作成するステップとを含み、

(1) 前記評価時間パラメータは、前記基本信号を正規化するのに必要な初期時間と、どの基本信号と波長の組合せが最も適切かを判定するための選択テストと前記所与の厚さが達成される前のエッチング速度測定とを実行するために必要な終了時間のいずれよりも長く、かつ、前記基本信号の指定の極値に相関し、

(2) 前記ストップ厚パラメータは、基本信号が極値に達する方法に関連する第1のデータ(A)と、前記指定の極値と前記所与の厚さが達成される前の最後の極値の間の極値の数に関連する第2のデータ(X)と、前記最後の極値と前記所与の厚さとの距離を示す第3のデータ(D)という3つのデータ(A X D)から構成されることを特徴とする方法。

【請求項12】前記基本信号について行われる所与の操作が、数値る波によって前記基本信号から得られる微分信号について行われることを特徴とする、請求項11に記載の方法。

【請求項13】基板上に形成した公称厚Eと屈折率Nの誘電フィルムを有する半導体ウェハのドライ・エッチングであって、プロセス変動による厚さの誤差 $\epsilon$ と屈折率の誤差 $n$ がどのようなものであっても、前記誘電フィルムの所与の厚さE fにおけるドライ・エッチングを監視する方法において、

(a) 製品ウェハと同じ特性を有するウェハ試験片について、評価時間パラメータおよびストップ厚パラメータから構成されるエッチ終点判定基準を作成するステップと、

(b) エッチング装置ののぞき窓が設けられたエッチ処理室内に製品ウェハを置くステップと、

(c) その値が $4 \times N \times \epsilon$ に等しい最小値より大きい少なくとも2種類の波長を含む光によってウェハを照射するステップと、

(d) 各々の前記波長について、反射した光を分光計手段に印加し、反応時間につれて変動するその強度を対応するアナログ干渉信号に変換するステップと、

(e) 前記アナログ干渉信号からデジタル基本信号を生成するために前記アナログ干渉信号をデジタル化するステップと、

(f) 前記評価時間が経過すると、指定の極値から所与の厚さが達成される直前の最後の極値まで前記基本信号ごとの指定の数の極値をただちにカウントするステップと、

(g) 前記基本信号によってエッチング速度を現場ならびにオンラインで測定し、前記波長のどちらが前記誘電フィルムの組成に最も適合しているかを識別するために前記基本信号の波形の対称性と前記エッチング速度の変動を分析し、対応する基本信号/波長の組合せを選択するステップと、

(h) 前記最後の極値のうちの最も早いものがエッチ終点に達する前に前記選択された基本信号について残りの時間を決定するステップと、

(i) 前記残りの時間が経過したときにエッチング処理を終了するステップとを含むことを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、半導体集積回路の製造に関し、より具体的には基板上に形成された誘電フィルムまたは層の所与の厚さすなわちストップ厚までのドライ・エッチングを監視するための方法および装置に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体集積回路(IC)の製造では、基板の表面上に形成された様々な材料の層および特に誘電材料の層の除去またはパターン形成に、プラズマ反応性イオン・エッチング(RIE)を含むドライ・エッチング技法が広く使用されている。プロセス・パラメータの制御、ならびに最終的にはIC製品の特性やパフォーマンスにとって最も重要なことは、このような層の除去中に所与の厚さでエッチングを停止するためのエッチ終点を決定することである。実際には、誘電層の残りの厚さが製品仕様を設定された公称値と等しいか、それに極めて近くなることが重要である。さらに、この残りの厚さは、同一のウェハ・ロットまたは別々のウェハ・ロット

に属すウェハ間で一定値にする必要がある。高い再現性でこのような所定の厚さを得ることは、その後、ウェハに対して行う処理ステップを正常に完了するために重要な要因の1つである。

【0003】図1は、本質的にシリコン・ボディ11と、その上に複数の絶縁層から形成されたスタック12とを含む、半導体構造10から構成されるウェハの一部の概略を示している。通常、スタック12は、最下部の厚さ30nmのSiO<sub>2</sub>層13と、中間の厚さ150nmのSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>層14と、最上部のSiO<sub>2</sub>層15とから構成される。SiO<sub>2</sub>層15の底面とSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>層14の上面との境界面は16aとして示されている。また、SiO<sub>2</sub>層15の上面は参照番号16bで示されている。一般に、SiO<sub>2</sub>層15は、テトラ・エチル・オルト・シリケート(TEOS)と酸素を使用する、LPCVD(減圧化学気相成長法)／PECVD(プラズマ強化型化学気相成長法)技法のSiO<sub>2</sub>によって形成される。ボディ11には、浅い絶縁トレンチ17が設けられている。このため、構造10は、16MビットのDRAMチップの製作に使用する絶縁トレンチ形成後のシリコン・ウェハの典型的な例である。製作のこの段階では、構造10を平坦化し、SiO<sub>2</sub>層15の初期厚さEを製品仕様によって決定された所与の値E<sub>f</sub>まで低減する必要がある。そのため、おおむねSiO<sub>2</sub>材と同じエッチング速度を有するフォトリソグなどの平坦化媒体の層18で構造10をコーティングし、従来のドライ・エッチング・ツールで構造10をエッチバックする。このエッチ・バックは、一般に2つの処理ステップで完了し、それぞれのステップはそれぞれ別の気体の化学物質を使用する。エッチ・バック・プロセスの第1のステップでは、SiO<sub>2</sub>層15の上面が露出されるまで構造10をエッチングする。侵食性を高めるためにより反応性の高い気体の化学物質を使用する第2のステップでは、SiO<sub>2</sub>層15を表面16bからE<sub>x</sub>f=E-E<sub>f</sub>の深さまでエッチングする。エッチング後に残っているSiO<sub>2</sub>層15の平坦な上面は参照番号16cで示されている。

【0004】図1に示されているのは、実際の製造環境で製造された典型的な構造である。しかし、最も一般的なものは、誘電層(SiO<sub>2</sub>層15)でコーティングされた基板(この場合、シリコン・ボディ11と、その上に形成されたSiO<sub>2</sub>層13およびSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>層14とを含む)から構成されるはずである。必要なのは、干渉計による測定を可能にするために、両者の境界面(16a)に2つの異なる光学媒体を設けることだけである。問題は、ドライ・エッチング・ツールで誘電層を所与の厚さまでエッチングすることである。

【0005】このエッチ・バック・プロセスは、SiO<sub>2</sub>層15のエッチング速度が一定であり、ウェハのエッチ・バック・ステップを行う前に決定することができるという仮定に基づく周知の時間厚さ制御技法を使用し

て、全体を監視することができる。エッチング速度値は、同一ツールで前のロットを処理したときに得られる教示から求めるか、あるいは、対象となるロットのサンプル・ウェハをそのツールで処理し、その後、この実験からエッチング速度値を決定することによって求める。後者の方がより正確であるが、時間がかかり、過剰エッチングの場合には各ロットの高価なウェハが無駄になる可能性がある。これは、製造環境では許容できないことである。したがって、時間監視技法により、決定された最終エッチング厚E<sub>x</sub>fに対応する時間が経過すると同時にエッチング・プロセスが停止する。残っているSiO<sub>2</sub>層15の実際の厚さE<sub>y</sub>fは、最終的に標準的な分光干渉計技法により測定し、所望の最終厚E<sub>f</sub>と比較する。SiO<sub>2</sub>層15が過剰エッチングされていると判明した場合は、調整は不可能なので、そのウェハを不合格として廃棄しなければならない。実際の厚さE<sub>y</sub>fが所望の最終厚E<sub>f</sub>を上回る場合は、前記所望の厚E<sub>f</sub>に近づけるためにもう一度そのウェハを新たなエッチング・ステップにかけるが、この場合、追加のエッチ・バックが必要であり、それに付随する測定も必要である。

【0006】もう1つの周知の監視技法は干渉計使用法に基づくものである。干渉計使用法では、所与の条件下でリアルタイムで現行エッチング厚E<sub>x</sub>(残っているSiO<sub>2</sub>層15の現行厚は、E<sub>y</sub>=E-E<sub>x</sub>のようにE<sub>y</sub>で示される)を現場ならびにオンラインで制御することができる。上記のエッチ・バック・プロセス中、SiO<sub>2</sub>層15の上面が露出されると、ただちにエッチング速度と現行エッチング厚E<sub>x</sub>を連続して正確に監視することができる。この標準的な技法によると、レーザから放出された単色放射線が構造10を含むウェハに垂直入射角で当てられる。SiO<sub>2</sub>層15の上面で屈折した放射線と、SiO<sub>2</sub>層15とその下にあるSi<sub>3</sub>N<sub>4</sub>層14との間に形成された境界面16aで屈折した放射線により、干渉じまが形成される。反射した放射線は適当な検出器、一般にフォトダイオードに照射され、これが、エッチング中のSiO<sub>2</sub>層15の厚さによって強さが変化する信号を生成する。この技法を改良したものは本出願人に譲渡されたEP-A-0511448に記載されている。この参考文献によれば、レーザは不要であり、プラズマによって放出される所定の放射線、この場合はSiBr線が干渉計として動作する分光計によって上面ポートから観察され、もう1つの分光計によって側面ポートから観察される。これらの分光計が生成する信号は、上記の参考文献に記載された方法により、デジタル・コンピュータで処理される。この技法では、観察するために十分な強度の1本の放射線を用意する必要がある。E<sub>x</sub>=E<sub>x</sub>fになるとエッチング・プロセスが停止し、残りのSiO<sub>2</sub>層の厚さはE<sub>y</sub>f=E-E<sub>x</sub>fによって示される。残りのSiO<sub>2</sub>層の実際の厚さE<sub>y</sub>fは、この方法ではオンラインならびに現場で測定することができ

ないので、ドライ・エッチング・ツールの外側で行う必要がある。また、プラズマは非常に不安定な媒体で、そのパラメータはプロセス要件によってのみ決定され（したがって、監視の必要性のためではない）、所定の波長を持つ指定の放射線が最適ではない場合もある。最後に、プラズマはピンポイント光源ではない。したがって、最終的な結果として、この改良方法にもいまだにいくつかの限界がある。

【0007】さらに、実際には、上記の絶縁層、特にLPCVD技法により形成されたSiO<sub>2</sub>層15は、厚さの再現性が低いことが分かっている。その結果、付着したSiO<sub>2</sub>層15の厚さと、付着した材料の組成が、同一ウェハ・ロットのウェハ間ならびに製作過程における同一ウェハ・ロットのラン間で大幅に異なる可能性がある。その結果、SiO<sub>2</sub>層15の厚さがその理論値Eでは示されなくなるが、 $E \pm e$ という値に近づけなければならない。この場合、 $e$ はLPCVD中のプロセス変動による厚さの許容誤差を表す。通常、 $e$ はSiO<sub>2</sub>層15の初期厚の約10%に相当する。したがって、実際には、 $E_{xf}$ が最終エッチング厚であれば、残りのSiO<sub>2</sub>層の最終厚が $E_{yf} = (E \pm e) - E_{xf}$ で示され、この値 $E_{yf}$ は、最終的に必要とされる所与の厚さの値 $E_f$ とは異なる可能性がある。すなわち、SiO<sub>2</sub>層15の元の厚さEに対する誤差 $\pm e$ が実際の最終厚にもくり返されて、 $E_{yf} = E_f \pm e$ になる。したがって、干渉計による方法は、エッチング厚 $E_x$ を正確かつ連続して測定し、次いで所定の厚さ $E_{xf}$ が除去されたとき、エッチングを停止することができるが、残念ながら、シリコン基板上に残るSiO<sub>2</sub>層15の現行厚 $E_y$ ならびにエッチ・バック操作の終了時の実際の最終厚 $E_{yf}$ を正確かつ連続して測定することはできない。このため、エッチ・プロセスの終了時に得られる残りのSiO<sub>2</sub>層15の実際の最終厚 $E_{yf}$ が前記所与の厚さ $E_f$ とのリアルタイムでの比較に直接使用できないので、 $\pm e$ という厚さの誤差を補正することができない。

【0008】この点については、図2の(a)を参照すると、もっとよく説明できる。そこで図2の(a)を参照すると、同図には理論的に分光計のフォトダイオードによって生成される正弦波曲線19aが示されている。実際には、分光計から出力される信号に高調波が存在するため、この信号は周期性であるが、正弦波は形成されない。通常の入射の場合、半分の周期に対応する2つの連続する極値（極小値から極大値またはその反対）が $d = L/4 \times N$ という関係により距離dだけ分離されている。ここで、Lは波長、NはSiO<sub>2</sub>層15の屈折率である。次に、このような半分の周期のエッチング速度ERとエッチング厚は $ER = 2 \times d / T$ という関係で相関関係を示すことができる。ここで、Tは周期信号の周期である。上記のプロセス変動による厚さの誤差 $e$ のため、現行厚 $E_y$ はSiO<sub>2</sub>層15の実際の厚さの値、す

なわち、図2の(a)に示す $E \pm e$ によることは明らかである。曲線19aは境界面16aで極大値を通過する。したがって、プロセス変動の結果、 $E_y$ の測定値に誤差が発生し、結局、最終的に必要とされる前記所与の厚さ $E_f$ とは大幅に異なる可能性のある残りのSiO<sub>2</sub>層15の最終厚の値 $E_{yf}$ でエッチング・プロセスが停止することになる。

【0009】これに対して、予想組成に関して前述したスタック12の様々な層を形成する付着材料の組成にも違いが存在する。特に、この結果、SiO<sub>2</sub>層15の公称屈折率N、より一般的には、前記スタック12を形成する残りのすべての層の屈折率にわずかな違いが発生する。さらに、このような残りの層はそれぞれの公称厚に関して不定の厚さを備えている可能性があり、それにより、表面形状(topography)に大幅な違いが生じる。最終的には、同一ロットの製品ウェハ間のこのような違いが主な関心事となる。一般に、このような違いは半導体素子製造技術に固有のプロセス変動による。図2の

(a)の正弦波曲線19aは、単色放射線の波長LとSiO<sub>2</sub>層15の公称屈折率Nとの完全な適応関係、より一般的にはスタック12の光学特性を示すものである。図1の構造10に関する限り、屈折率の実際の値は $N \pm n$ によって示され、公称厚が $N = 1.48$ 、誤差nが0.002の場合、Nの実際の値は約1.46~約1.50の間で変動する。指定の波長と屈折率との不一致が発生すると、図2の(b)の曲線19bが示すように、分光計から出力される信号がただちに低下する。この場合、エッチ終点を検出するためにドライ・エッチ・プロセスを監視することはもはや不可能である。

【0010】したがって、SiO<sub>2</sub>層15の厚さEの典型的な値は $650 \pm 65 \text{ nm}$ に等しくなる。この値は、平坦化ステップ後に残っている層15の所望の厚さと比較され、この例では $E_f = 100 \pm 5 \text{ nm}$ で示される。その結果、SiO<sub>2</sub>層15の公称厚 $E = 650 \text{ nm}$ に関する誤差 $e = 65 \text{ nm}$ が残りのSiO<sub>2</sub>層15の厚さ全体に反映されるが、求めている残りのSiO<sub>2</sub>層15の厚さの誤差は5 nm以下であるべきである。厚さの誤差 $e = 65 \text{ nm}$ が残りのSiO<sub>2</sub>層15の厚さ $E_f = 100 \text{ nm}$ と同じ桁であることに留意することが重要である。したがって、ここで解決すべき主な問題は、構造10の製作に固有のプロセス変動の結果発生する組成の違いによる厚さの誤差 $e$ と屈折率の誤差nを除くことである。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】したがって、本発明の主な目的は、基板上に形成した誘電フィルムを前記基板上に残っている必要がある誘電フィルムの所望の厚さ（所与の厚さという）まで減少させるドライ・エッチング・プロセスを監視するための方法および装置を提供することにある。

【0012】本発明の他の目的は、そのように行われたときの誘電フィルムの上面からではなく、誘電フィルムと基板との境界面からエッチ終点判定基準が決定されることを特徴とする、基板上に形成した誘電フィルムを所望の厚さまで減少させるドライ・エッチング・プロセスを監視するための方法および装置を提供することにある。

【0013】本発明の他の目的は、1つのロットの全ウェハについて非常に正確にしかも完全な再現性をもって基板上に形成した誘電フィルムを所望の厚さまで減少させるドライ・エッチング・プロセスを監視するための方法および装置を提供することにある。

【0014】本発明の他の目的は、製造プロセスによるフィルム厚および組成の変動とは無関係に、基板上に形成した誘電フィルムを所望の厚さまで減少させるドライ・エッチング・プロセスを監視するための方法および装置を提供することにある。

【0015】本発明の他の目的は、別々かつ指定の波長を有する少なくとも2種類の放射線を含む大規模光線の使用と、最良のものの選択とに基づく、基板上に形成した誘電フィルムを所望の厚さまで減少させるドライ・エッチング・プロセスを監視するための方法および装置を提供することにある。

【0016】本発明の他の目的は、前記指定の波長が  $4 \times e \times N$  ( $e$  は厚さの誤差であり、 $N$  は誘電フィルムの屈折率である) で示される最小値より大きいことを特徴とする、基板上に形成した誘電フィルムを所望の厚さまで減少させるドライ・エッチング・プロセスを監視するための方法および装置を提供することにある。

【0017】本発明の他の目的は、  $4 \times e \times N$  ( $e$  は厚さの誤差、 $N$  は誘電フィルムの屈折率) で示される最小値より大きい指定の波長の小規模光線の使用に基づく、基板上に形成した誘電フィルムを所望の厚さまで減少させるドライ・エッチング・プロセスを監視するための方法および装置を提供することにある。

【0018】本発明の他の目的は、正確さを最大にするためにエッチング中の製品についてエッチング速度を現場ならびにオンラインで測定することを特徴とする、基板上に形成した誘電フィルムを所望の厚さまで減少させるドライ・エッチング・プロセスを監視するための方法および装置を提供することにある。

【0019】

【課題を解決するための手段】本発明は、基板上に形成した誘電フィルムを含む構造のドライ・エッチング・プロセスを監視するための方法および装置を提供することを目的とする。主な目的は、公称厚  $E$  に (プロセス変動による) 誤差  $e$  が生じやすい誘電フィルム (たとえば、図1の  $SiO_2$  層15) を、前記誘電フィルムの底面と基板との間の境界面から測定した所与の厚さ  $E_f$  までエッチングすることである。前記所与の厚さは製品仕様

正確に定義されている。別の目的は、公称屈折率  $N$  の誤差  $n$ 、より一般的にはスタック12の光学特性のばらつきを除去することである。通常、基板は、半導体ウェハの一部であり、絶縁材料からなる層 (たとえば、図1の  $SiO_2$  13/ $Si_3N_4$  14の複合層) によってコーティングされたシリコン基板から構成される。

【0020】本発明の装置に関する限り、好ましい実施例では、主な革新は、水銀ランプなど、指定の波長を有する少なくとも2種類の放射線を含む光を発生する複数波長光源を使用することにある。これらの波長  $L_1$  と  $L_2$  は、  $L_{min} = 4 \times N \times e$  で示される最小波長  $L_{min}$  より大きい。この光は、光ファイバおよびコレクタ・レンズを介してほぼ垂直の入射角で、標準どおりドライ・エッチング装置内に置かれた (前記構造を取り入れた) ウェハの大部分を照射する。反射した光は2つの分光計に印加され、それぞれの分光計は1種類の放射線処理できるようになっている。分光計から出力されたアナログ信号は、反射した光の干渉を示している。これらの信号は、それぞれの  $A/D$  変換器でデジタル信号に変換され、次に信号処理および分析のためにデジタル・コンピュータに印加される。デジタル・コンピュータは前記デジタル信号を処理して、ろ波し正規化した基本信号  $S_1$  および  $S_2$  と、その数値ろ波後のそれぞれの微分信号  $S'_1$  および  $S'_2$  を生成する。それらの間に位相のずれ (たとえば、  $1/4$  周期) があることが推奨される。

【0021】本発明の方法によれば、エッチ終点を指定し、エッチ終点判定基準を構成するパラメータがまず決定される。誘電フィルムの公称厚  $E$  により、誘電フィルムの上面とフィルム/基板の境界面との間の基本信号  $S$  ( $S$  は  $S_1$  または  $S_2$  のいずれか一方を意味する) の周期数を決定することができる。実験によれば、基本信号  $S$  はフィルム/基板の境界面で極値 (たとえば、極大値) を有することが分かっている。次に、前記所与の厚さ  $E_f$  も周期に換算される。この場合、所与の厚さ  $E_f$  を達成する前に信号  $S$  の最後の極値を識別することが可能である。最後の極値は、前記境界面から全周期 (またはその倍数) の距離にある。最後の極値を達成する前に所与の選択テストおよび測定を実行するため、遅延を確保する必要がある。これに対して、数値フィルタを安定化する前にコンピュータによる信号処理を開始しないことも必要である。次に、これらの遅延を確保した公認周期で曲線上の極値を選択することができる。誘電フィルムの上面からこの選択した極値まで移動するのに必要な時間は、評価時間 (rate time)  $RT$  ( $RT$  は  $RT_1$  または  $RT_2$  のいずれか一方を意味する) という。したがって、微分時間  $RT$  は、このようなタイミング要件をすべて考慮した時間軽減周期である。次に、この選択した極値 (除外される) と最後の極値との間のゼロの数  $X$  ( $X$  は  $X_1$  または  $X_2$  のいずれか一方を意味する) を決

定することができる。基本信号Sが前記選択した極値に達する方法（上昇転移または下降転移）も識別され、符号A（AはA1またはA2のいずれか一方を意味する）によって表される。最後の極値の所与の厚さとの距離に対応する残りの厚さD（DはD1またはD2のいずれか一方を意味する）は容易に決定することができる。次に、これらのデータA、X、Dによって表されるストップ厚パラメータST（STはST1またはST2のいずれか一方を意味する）を定義することができる。最後に、微分時間RTとストップ厚STを含むエッチ終点判定基準と、エッチング中のウェハについて現場ならびにオンラインで測定されるエッチング速度とにより、エッチ・ストップが正確に定義される。微分時間とストップ厚パラメータは、計算（少なくとも大まかな概算のため）によるか、または予備トレーニング・ステップでウェハ試験片（サンプルまたは理想的な製品ウェハ）を処理することによって決定することもできる。このエッチ終点判定基準はコンピュータに入力される。

【0022】次に、製品ウェハは、コンピュータの制御下で処理することができる。まず、コンピュータは、基本信号Sを分析する前に時間軽視周期（微分時間RTに対応する）の間、待機する。この周期が経過すると、コンピュータは前記選択した極値を識別し、ゼロの数Xをカウントして最後の極値を検出する。この間、コンピュータは選択テストにも移行してどの波長が最も適切かを判定し、測定を行ってエッチング速度ER（ERはER1またはER2のいずれか一方を意味する）を決定する。これらの動作は、それぞれの基本信号S1およびS2ごとに実行される。最後の2つの極値のうちの早い方に達する前に、コンピュータは、上記の選択テストの結果として最良の基本信号S1またはS2を選択する。さらに、コンピュータは、選択した基本信号の最後の極値から所与の厚さまで移動するための残りのエッチング時間dtを決定する。この時間dtは、 $dt = D / ER$ という関係で示される。実際に、基本信号S1およびS2の極値の探索、上記の選択テスト、並びに測定は、正確さを最大にするために微分信号S'1およびS'2について行うことが好ましい。

【0023】誘電フィルムの屈折率のばらつきがまったくないか、またはわずかであることが技術によって保証される場合、または専用の監視サイトを使用する場合は、別の好ましい実施例において、単一基本信号Sと小規模サイズの光線を発生するために1種類の波長（したがって、1つの分光計）だけを考慮することもできる。

【0024】したがって、本発明の誘電フィルムを所与の厚さまで低減するドライ・エッチングを監視する方法は、エッチング厚が不正確な起点、すなわち、誘電フィルムの上面から測定される前述の既知の干渉計による監視技法とは大幅に異なる。本発明の方法によれば、所望の所与の厚さが達成されるとエッチングを停止するよう

に、誘電フィルム／基板の境界面から監視が行われる。さらに、1種類の波長の放射線（誘電フィルムの屈折率と適合しない場合に非常に不十分な干渉信号を生成する可能性がある）を使用する代わりに、少なくとも2種類の波長を使用する。製造プロセスに固有の誘電フィルムの公称厚および屈折率の変動の結果発生するような問題はこれで克服される。したがって、本発明の方法および装置によれば、所与の厚さまでの誘電フィルムのドライ・エッチングが高い正確さと再現性で実行される。本発明の方法は、図1を参照することにより上記に示した層の平坦化だけでなく、より一般的には所与の厚さまでの誘電フィルムの研磨など、広範囲の応用分野および技術領域に使用することができる。

【0025】本発明の特徴であると思われる新規の特徴は特許請求の範囲に記載されている。しかし、本発明そのもの、ならびに本発明の他の目的および利点は、添付図面に関連して以下に示す例示の好ましい実施例の詳細な説明を参照することにより、最もよく理解できるだろう。

【0026】

【発明の実施の形態】次に図3を参照すると、同図には、本発明の方法を実行できるようになっているエッチングおよび監視システム20が示されている。システム20はまず、処理すべき物、通常はシリコン・ウェハ24を保持する平面形状のサセプタ23を取り囲むエッチ処理室22と、RF電源25とから本質的に構成されるドライ・エッチング装置21を含む。本発明の教示によれば、エッチ処理室22には、適切な入射角でウェハ24を照射できるように、使用する波長で透明の材料からできた少なくとも1つの窓またはのぞき窓26が設けられていることが不可欠である。いくつかの理由により、垂直入射角が非常に好ましい。図3に示す特定の実施態様では、のぞき窓26が処理室22の上部壁面に位置する。その点で適当なエッチング装置としては、複数の単一ウェハ・プラズマ・エッチ・リアクタを含むRIEツールであるAMEプレジジョン5000がAPPLIED MATERIALS INC社（米国サンタクララ）より市販されている。このタイプのツールでは、サセプタ23が陰極であり、処理室の壁面がアースに接続されたもう一方の電極を形成する。2つの電極間に発生したプラズマ27は、エッチング条件を表す種を含む。エッチングを実行している間、このような種からの放出の強度は、時間、被エッチング材料、表面変化の関数として変化する。

【0027】システム20は、本発明の監視装置28をさらに含む。光源29は、光ケーブル30およびコレクタ・レンズ31を介して上部のぞき窓26からウェハを照射する。本発明の教示によれば、プロセス変動により製品ウェハ間に発生しうるスタック12の光学特性のばらつきを除去するため、少なくとも2種類の指定の波長L1およびL2を推奨する。これに関して、光源29の



様々な実施態様が考えられ、たとえば、白色光源（キセノンまたはハロゲン・ランプなど）または多色光源（低圧水銀（Hg）またはアルゴン（Ar）ランプなど）のいずれかが妥当である。光源29は、UVP（米国カリフォルニア州サンガブリエル）から販売されているモデル90-0020-01など、254～579nmの範囲の波長を有する8種類の放射線を放出する、低圧水銀ペン光線であることが好ましい。UNIPHASE（米国カリフォルニア州マンテカ）から販売されているモデル1108Pなどの2つの単色レーザの組合せ（それぞれが前記2種類の指定の波長の一方を発生するように調整されている）またはランプ／レーザの混合解決策でも十分である。いくつかの理由から、外部光源29に適合するように水銀ランプを選択することが好ましい。まず第1に、広範囲の波長を選択することができ、第2に、プラズマ条件とは無関係に強度を調整できる非常に安定した光源であり、最後に、短い波長を使用した場合、レーザに比べ、低コストであり、寸法が小さいからである。さらに本発明によれば、光ケーブル30は、このような所定の波長を移送できるようになっている複数の基本的ファイバから構成されている。ウェハ24の表面から反射された光は、図3に示すように、光ケーブル30と同じ構成を有する光ケーブル32Aおよび32Bから構成される光ケーブル32によって検出される。前記光ケーブル30および32を形成する基本的ファイバは、ウェハ24に対して垂直なほぼ同一の光軸を有するように配置されている。特定の実施態様では、1束のファイバを形成するようにまとめて任意に組み立てられている。光ケーブル30および32は、そのような束になったファイバから構築されている。光ケーブル32Aおよび32Bは、光ケーブル32を形成するファイバから構築されている。ただし、3通りの光ケーブル30、32A、32Bからなる組でも十分であると思われる。光ケーブル30および32は、垂直入射角でウェハ24を観察している。レンズ31は、のぞき窓26からウェハ24に平行光線を提供する。それぞれの光ケーブルは、ウェハ24の比較的大きい面積から放出／反射された光の照射／捕捉を可能にする立体角を提供しなければならない。光ケーブル32Aおよび32Bは、分光計33Aおよび33Bにそれぞれ接続されている。適切な分光計としては、SOFIE IN ST（フランス、Arpajon）から市販されているDIGISEMという商標のモデルがある。このモデルの分光計は、広範囲のスペクトルの放射線について調整可能で、この場合は、水銀ランプ29から放出される多色光の特定の波長に調整されている。それぞれの分光計は、モノクロメータと検出器を含む。伝送された光はモータで駆動されるモノクロメータによって受け取られ、このモノクロメータは監視すべき波長を除くすべての放射波長をろ波して取り除く。次に、選択された放射線が検出器によって受け取られる。この検出器は、低雑音ダイオード検出器

または好ましくはアナログ・フィルタおよび増幅器とを組み合わせた低雑音光電子増倍管のいずれでもよい。分光計33Aおよび33Bの増幅セクションからそれぞれ出力されるアナログ干渉信号は、標準どおり、2つの1/V変換器と、アンチ・エアース（低周波）フィルタと、2つのA/D変換器と、バッファを含むユニット35と、並びにソフトウェアで動作するデジタル・コンピュータなどの処理／分析ユニット36とを含む。最後に、コンピュータ36は、アナログ干渉信号を表す基本信号S1およびS2と、それぞれの数値ろ波による微分信号S'1およびS'2を生成する。コンピュータ36には、プリンタ37（またはチャート・レコーダ・ユニットまたはプロッタまたは表示装置）が接続されている。プリンタ37により、本発明の監視方法により生成されたアナログ信号を印刷することができる。最後に、コンピュータ36は、遠隔制御ユニットを介してRF周波電源25に接続された制御線38によりエッチ処理室22の動作を監視することができる。この線38により、所望の所与の厚さEfを達成した終点検出時にエッチング処理を自動的にスイッチオフすることができる。ただし、SOFIE IN ST（フランス、Arpajon）から販売されているSDAというモデルなどの最新分光計を使用する場合は、分光計33を1つだけ使用することもできることに留意された。このタイプの分光計には、複数チャネル・フォトダイオード・アレイが設けられている。

【0028】図4は、コレクタ・レンズ31を取り囲むハウジング40から本質的に構成されるコリメータ・セクション39を詳細に示している。ハウジング40は、上部のぞき窓26に面した透明の底面を有し、その上部に接続されている光ケーブル30および32を受け入れられるようになっている。サンプル・ウェハに向けられ（光ケーブル30を経由）、それから反射する（光ケーブル32を経由）光線の形状を図4では参照番号41で示す。図4に示すように、ウェハ24の大きい面積が照射される。

#### 【0029】本発明の方法の説明

1つのロットの製品ウェハのエッチ・プロセスを行う前に、これらのウェハに合わせてシステム20を校正するための予備ステップがいくつか必要になる可能性がある。本質的に、少なくとも1種類の適切な波長を選択し、エッチ終点判定基準を決定することが不可欠である。前記波長および基準は、対象となる製品ウェハに適合していなければならない。以下の説明では、厚さの誤差と、前述の屈折率の違いの両方を除去するために、2種類の波長について言及する。

#### 【0030】システム20の校正

##### A) 波長L1およびL2の選択

適切な波長を選択するための基準を以下に示す。この選択では、適切な水銀ランプ29の選択が決定される。製

品仕様に記載されている可能性のあるデータを使用して波長を選択する。実際には、製品ウェハのSiO<sub>2</sub>層15の実際の厚さが $E \pm e$ で示され（この場合、 $e$ はフィルム厚の誤差である）、その実際の屈折率が $N \pm n$ で示される（この場合、 $n$ は屈折率の誤差である）。屈折率の誤差 $n$ は、スタック12を形成するすべての層の厚さや組成の違いによって発生する光学特性のばらつきの主な発生源である。このような誤差 $e$ と $n$ は、前述のようにウェハ間のプロセス変動によって発生する。我々の例では、 $E$ は650nmになり、 $e$ は65nmになり（ $e = 10\%$ と想定する）、 $N$ は約1.48になり、 $n$ は約0.02になっている。まず第1に、選択した波長 $L_1$ および $L_2$ をSiO<sub>2</sub>層15の特定の屈折率 $N$ 、より一般的にはスタック12の光学特性に適合させなければならない。本質的に、SiO<sub>2</sub>層15は、両方の波長で透明でなければならない。第2に、選択した波長 $L_1$ および $L_2$ が $L_{min} = 4 \times N \times e$ という関係で示される理論値 $L_{min}$ より大きく、すなわち、 $L_1 > L_{min}$ であり、 $L_2 > L_{min}$ であることが不可欠である。このような選択は、前述のようにウェハ間またはウェハ・ロット間の光路のばらつきを除去するために特に重要である。以下の説明では、慣例により、 $L_2 > L_1$ であると想定する。第3に、正確さのため、 $L_1$ および $L_2$ についてはできるだけ最小値になることが望ましい。第4に、少なくとも製品ウェハに対して（以下に詳述する）何らかの選択テストと測定を行う期間に、異なる挙動を示す、対応する基本信号S1およびS2を得ることが必要である。特に、異なるが互いに比較的近い前記波長 $L_1$ および $L_2$ を選択した場合でも、信号S1とS2との間に所望の位相のずれ、通常は1/4周期をもたらしことを推奨する。最後に、このような基準を組み合わせると、スタック12のトポロジおよび光学特性による寄生反射によって発生する信号S1とS2のその後のひずみを効率よく防止することになる。 $L_{min} = 385\text{nm}$ になるように、 $e = 65\text{nm}$ と $N = 1.48$ という平均値とを使用した単純な数値例を検討する。したがって、その点では254~579nmの範囲の不連続な波長を含む上記の水銀ランプが適切である。というのは、 $L_{min}$ のすぐ上にある最も近い波長の値が $L_1 = 404.7\text{nm}$ と $L_2 = 435.8\text{nm}$ で示されるからである。これらの値は前述の条件をすべて満たしている。SiO<sub>2</sub>層15の屈折率 $N$ の許容誤差がまったくない場合、より一般的には使用する技術のためにスタック12の光学特性にばらつきがまったくない場合、1種類の波長だけを使用することも可能である。同様に、本発明の監視方法は、製品ウェハの非常に特殊な専業現場に応用する場合には1種類の波長で実施することができるが、このような手法は生産的な製造環境にとって興味深いものではないだろう。

【0031】B) エッチ終点判定基準の決定

便宜上、以下の説明では、基本信号S1およびS2を示すグラフを参照して、エッチ終点判定基準を決定する。これらのグラフは、製品仕様にに基づく理論上の計算によって求めることができる。また、製品またはサンプル・ウェハ（図1のスタック構造の設けられているもの）のいずれかをエッチングすることによって求めることもできる。サンプル・ウェハは、付着したフィルムの特徴付けに広く使用されている。サンプル・ウェハは、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>層14の上部が露出するまでエッチングすることができ、その結果、信号S1およびS2を表す干渉曲線の全体が得られる。このような技法により、オペレータまたはコンピュータはシステム20の挙動の大まかな概算を行うことができる。システム20は、以下ウェハ試験片という理想的な製品ウェハ（理想的な製品ウェハとは、そのSiO<sub>2</sub>層15の厚さが公称値になる、すなわち、 $E = 650\text{nm}$ になるウェハである）またはそのロットの任意の製品ウェハのいずれかである製品ウェハを使って較正することもできる。しかし、後者の場合、高価なウェハであれば、予想エッチ終点に達する前にエッチングを停止し、次にエッチングすべき残りの厚さを測定し（エッチ終点判定基準を決定するため）、その上でエッチング操作を完了することを推奨する。この例では、前述の時間厚さ制御技法によりエッチングが行われる。安価なサンプル・ウェハを使用することは、製品ウェハを使用するよりコスト上、明らかに有利であるが、それぞれの表面形状の違いにより挙動が異なる可能性がある。最良の解決策は、このような理論上の計算によるエッチ終点判定基準の大まかな概算と、その微調整のために前のTEOS/SiO<sub>2</sub>付着ステップ中にキャリアの中ほどにあるロットの製品ウェハを使用することの組合せにあるようである。そのように調整すると、そのロットの残りの製品ウェハは特別な注意を払わずとも処理することができる。その結果、システム20の較正を完了するために高価な製品ウェハを使用する場合でも、無駄にはなくなる。前記エッチ終点判定基準の決定については、例示のために理想的な製品ウェハから較正される試験片のエッチングに関連して以下に説明する。

【0032】まず、RIEツール21内にウェハ試験片を置く。波長 $L_1$ および $L_2$ の2種類の放射線を含む光線を水銀ランプ29によって発生し、上部のぞき窓26に結合してウェハ試験片24を照射する。ウェハ照射による反射光線を光ケーブル32Aおよび32Bにより分光計33Aおよび33Bに印加する。処理ユニット34とプリンタ37をオンにする。これでシステム20は動作可能な状態になる。

【0033】エッチ・プロセスとその監視が開始されると、ただちに分光計33Aおよび33Bがアナログ干渉信号S1およびS2をそれぞれ発生する。これらの信号は、それぞれの放射線の経過時間の関数として反射光の強度を示すものである。デジタル・データへの変換と

ろ波の後、信号S1およびS2（簡略化のため、S1およびS2という）を数値フィルタでろ波し、それぞれの微分信号S'1およびS'2を発生する。微分信号S'1およびS'2は、当業者には既知のように、高調波除去のために数学アルゴリズムを使用して信号S1およびS2を数値ろ波することによって得られる。この信号処理の目的は、対応する基本信号が極値を通過したときに任意のX軸を横切る微分信号を生成することである。それが急激に転移するので、微分信号のゼロを処理する方が基本信号の極値を処理するより正確である。この場合、このように実施された数値ろ波は、基本信号の微分のように広く機能する。

【0034】次に、本発明の監視方法の2つの主なパラメータ、すなわち、それぞれの波長L1とL2に関するストップ厚STと微分時間RTを決定するには、好ましくは基本信号と微分信号のグラフを描く必要がある。図5は、対象となるウェハ試験片について得られた基本信号S1およびS2と微分信号S'1およびS'2の波形の理想化グラフ表現を示している。前述の理論上の計算でも、極めて同様の概略曲線が得られるはずである。図5では、明確にするため、図1を参照して前述した様々な表面/境界面が示されている。

【0035】ストップ厚と微分時間というパラメータ（何らかの点で両者は相関関係にある）は、以下に詳述する本発明の監視方法の実施に不可欠なエッチ終点判定基準を構成する。

【0036】ストップ厚パラメータ

本発明の原理によれば、エッチ終点は、前述の先行技術の教示で実施されたようにTEOS/SiO<sub>2</sub>表面16bからは求められず（不都合が報告されている）、TEOS/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の境界面16aから求められる。特に、ストップ厚パラメータSTの決定は、まず、図5に示すように基本信号S（SはS1またはS2のいずれかを意味する）の干渉曲線がTEOS/SiO<sub>2</sub>/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>の境界面16aで極大値を有するという研究結果に基づいている。その結果、初期SiO<sub>2</sub>層15の公称厚Eと、エッチング処理の終了時に残っていなければならないその最終的な所望の厚さEfが、境界面16aから所与の距離のところで所定の値を有することを考慮すると、ウェハやプロセス変動による厚さの誤差εがどのようなものであっても、信号Sの周期数T（TはT1またはT2のいずれかを意味する）は同一になる。さらに、指定の波長L（LはL1またはL2のいずれかを意味する）について特定の選択を行っているので、所与の厚さEfに対応する表面16cが基本信号Sの連続する2つの極値の間または微分信号S'（S'はS'1またはS'2のいずれかを意味する）の2つのゼロの間、すなわち、半周期に位置すると想定することができる。したがって、最後の極値は、図5に示す場合では全周期T、より一般的にはその倍数に対応する、境界面16aから

所定の距離に位置する。したがって、この最後の極値に対応する微分曲線S'の最後のゼロは表面16cから所定の距離D（DはD1またはD2のいずれかを意味する）に位置する。要約すると、この基本信号Sが表面16aと16cとの間の極値を通過する回数は完全に求められる。実際には、これは、表面16cに達するまで正確さを増すために微分信号S'のゼロ交差数をカウントすることによって行われる。

【0037】ウェハ試験片の場合、公称厚Eにより、基本信号S1に関する表面16bと境界面16aとの間の理論上の周期数K1(1)を計算することができる。この数は、 $K1(1) = (2 \times N \times E) / L1 = (2 \times 1.48 \times 650) / 404.7 = 4.75$ 、したがって $E = 4.75 \times T1$ （信号S1の周期）のようになる。図5から明らかなように、この数K1(1)は、境界面16a（極大値のとき）と第1の極大値（前記境界面16aから）との間の0.5周期と、次の4回の中間の全周期と、最後に表面16bに達するまでの0.25周期との合計を表す。これに対して、表面16cによって示される、エッチ・プロセスの終了時に残っていなければならないTEOS/SiO<sub>2</sub>層15の厚さの値は既知であり、Efになる。次に、この値を端数の周期T1に変換することができる。 $Ef = 100 \text{ nm}$ であるこの例では、この数K1(2)が $K1(2) = (2 \times N \times Ef) / L1 = (2 \times 1.48 \times 100) / 404.7 = 0.73$ 、したがって $Ef = 0.73 \times T1$ で示される。この値は、0.5 T1（前述の2つの極値の間）と、0.23 T1との合計である。これらの値は、それが報告されている図5ではすべて明白である。最後に、やはり公称厚Eの場合に表面16bと16cとの間のゼロの数が $K1(1) - K1(2) = 4.02 = (8 \times 1 / 2 + 0.02)$ から求められ、その結果、整数であるゼロの数K1(3)は $K1(3) = 8$ で示される。これらのゼロは、図5では丸で囲まれている1~8の範囲の数字で示される。信号S2およびS'2に関する限り、対応する数K2(1)とK2(2)も設定することができる。 $K2(1) = (2 \times N \times E) / L2 = 4.41$ 、したがって $E = 4.41 \times T2$ （T2は信号S2の周期である）、 $K2(2) = (2 \times N \times Ef) / L2 = 0.68$ 、したがって $Ef = 0.68 \times T2$ 、 $K2(1) - K2(2) = 3.73$ であるので、上記の数値により $K2(3) = 7$ になる。これらのゼロは、図5では丸で囲まれている1'~7'の範囲の数字で示される。

【0038】しかし、本発明の監視方法によれば、ゼロのカウントは、エッチ・プロセスが始まってから所与の遅延後に開始される。この遅延は、以下微分時間RT（RTはRT1またはRT2のいずれかを意味する）といい、ウェハ試験片について行う数回の実験によって求められる。微分時間RTとは、ウェハのエッチング中に所与の回数の操作、本質的にはどの基本信号が最良であ

るか（したがって、どの波長が最も適切か）を選択するためのテストを行い、エッチング速度 $ER$ を測定するのに必要な時間をまず考慮し、次に数値フィルタを初期設定し、基本信号 $S_1$ および $S_2$ を正規化するのに必要な時間を考慮した軽視周期である。微分時間 $RT$ を決定するための方法については、以下に詳述する。さて、図5では、曲線 $S'_1$ に最後のゼロが（1）と示されており、信号 $S_1$ および $S'_1$ の微分時間 $RT_1$ が時間 $t_0$ を経過したときに（5）と示されているゼロに相当すると想定する。図5から明らかなように、ゼロ（5）（カウンタには含まれない）と最後のゼロ（1）との間のゼロの数 $X_1$ は4になる。数値 $X_1$ は $ST_1$ パラメータの第1の成分である。信号 $S_2$ および $S'_2$ にも同様の理由が当てはまり、 $X_2$ も4になることが分かる（図5に示す微分時間 $RT_2$ がゼロ（5'）に対応すると想定する）。図5から明らかなように、信号 $S_2$ および $S'_2$ の微分時間 $RT_2$ は微分時間 $RT_1$ とは異なり、基本信号 $S_1$ と $S_2$ の間には、無視できない周期差が存在する。特に、図5の場合、数回の選択テストと測定が行われる活動領域では、約2周期 $T$ 分の持続時間 $T_r$ （ $T_r$ は $T_{r1}$ または $T_{r2}$ のいずれかを意味する）における、基本信号 $S_1$ と $S_2$ との間には周期差が存在する。

【0039】パラメータ $ST$ の第2の成分は、基本信号 $S$ の最後の極値と表面16cとの間の距離 $D$ （ $D$ は $D_1$ または $D_2$ のいずれかを意味する）である。1周期 $T$ に対応する距離は $L/2 \times N$ になる。この場合、距離 $D$ は、 $D = L/2 \times N - Ef$ という関係によって容易に得られる。上記の数値を使用すると、 $D_1 = 404.7 / (2 \times 1.48) - 100 = 37 \text{ nm}$ 、 $D_2 = 435.8 / (2 \times 1.48) - 100 = 47 \text{ nm}$ である。

【0040】最後に、文字Aで示される第3の成分は、ウェハ試験片について微分時間 $RT$ が経過した後に微分信号 $S'$ がゼロ交差を行う方法に関連する。すなわち、微分信号 $S'$ の増大部分または減少部分のいずれでゼロ交差が生じるかを示す。図5から明らかなように、信号 $S'_1$ のゼロ（5）は、下降転移によって達成される。しかし、他の場合には、上昇転移でも達成されるはずである。それを完全に説明するためには、 $ST$ パラメータにこの成分を取り入れることは価値があることである。第1のケース（下降または減少転移）では、成分Aが第1の値または符号（たとえば、 $A = +$ ）で表され、もう一方のケースでは第2の値または符号（たとえば、 $A = -$ ）で表される。

【0041】したがって、最も一般的には、ストップ厚パラメータ $ST$ が $A \times D$ というワード（ $D$ はナノメートル単位で示される）によって表される。ストップ厚パラメータ $ST$ は、波長 $L_1$ および $L_2$ のそれぞれについて設定される。したがって、図5に示すウェハ試験片に関連して前述した実験では、各波長ごとのそれぞれのストップ厚パラメータ $ST_1$ および $ST_2$ は、 $ST_1 =$

$+ 4 \ 37$ 、 $ST_2 = + 4 \ 47$ で表される。この場合、2種類の波長 $L_1$ および $L_2$ （ならびに対応する周期 $T_1$ および $T_2$ ）がわずかに異なるので、数字 $X_1$ および $X_2$ は同じ値を有する（ $X_1 = X_2 = 4$ ）が、距離成分 $D_1$ および $D_2$ は異なっている。

#### 【0042】微分時間パラメータ

これに対して、数値ろ波では、製造環境に適合した信頼性のある結果を提供できるようにするために、数値フィルタを安定化させ、基本信号を正規化する前に所定の遅延が必要である。これに対して、エッチ・プロセスの監視のためにどちらが最良か、したがって、どちらの波長を選択すべきかを決定するには、基本信号 $S_1$ および $S_2$ のテストの必要ステップに移行するための所与の時間が必要である。この期間中に数回の測定を行い、その製品ウェハについて最後の極値に達したときに残りのエッチング時間を計算するのに必要な平均エッチング速度 $ER$ を決定する。エッチング速度 $ER$ の測定は、オンラインならびに現場で行われるので非常に正確であり、そのため、エッチング中のウェハ（試験片または製品）の実際のエッチング条件に完全に対応する。このような遅延はいずれも、簡単に前述した微分時間 $RT$ パラメータによって考慮され、したがって、本発明の方法のもう1つの不可欠パラメータになっている。次に、微分時間 $RT$ の決定に使用する基本規則を示す。

【0043】微分時間 $RT$ の決定には、まず、所与の選択テストおよび想定に移行するのに必要な時間の推定が必要である。どちらの基本信号 $S_1$ または $S_2$ が最良であるか（したがって、どの波長が最も適当であるか）を決定し、エッチング速度を測定するには、半周期での1回のテストで十分であるが、選択テストの最適数は約2であると思われることが実験によりすでに立証されている。この場合、合計テスト周期は全周期 $T$ になる。しかし、特別な時間的制約が一切ない場合は、正確さを高めるためにより多くのテストを行うことができる。この方法については、簡略化のため、図5に示す信号 $S_1$ および $S'_1$ を参照して説明する。信号 $S'_1$ の最後のゼロ

（1）が実用上の理由から除外されている場合、これは、ゼロ（2）、（3）、（4）が選択テストに必要なことを意味する。この期間は確保されているので、その時点で使用可能な第1のゼロはゼロ（5）であり、これはゼロ（1）に達するための2周期 $T_1$ に等しい持続期間 $T_{r1}$ に対応する。この持続期間 $T_{r1}$ も、エッチング速度 $ER_1$ を決定するのに必要な測定に移行するのに十分であると思われる。その結果、このウェハ試験片の場合、また、選択テストとエッチング速度測定に関する限り、適当な微分時間 $RT_1$ は $4.75 \ T_1 - 3 \ T_1 = 1.75 \ T_1$ になるはずである。公称厚 $E$ の表面16bから始まって、この遅延 $RT_1$ を確保するのに必要な時間 $t_0$ は、 $t_0 = RT_1 = (1.75 \times L_1 \times 60) / (140 \times 2 \times N) = 103$ 秒で示される

(平均エッチング速度 $ER1$ は、先行ウェハ・ロットについて測定した平均値または予想値である $140\text{nm}$ と想定する)。次に、この遅延 $RT1$ が数値フィルタを安定化させ、基本信号を正規化するのに十分であることを検査することが残る。この安定化時間は半周期 $T1$ 、すなわち、図5の記載例では約 $30$ 秒よりかなり短いことが分かっている。ただし、フィルタの安定化と信号の正規化に関する前述の条件が適切に満足されている場合には、テスト／測定時間 $T_r1$ に関してもゼロ(5)ではなくゼロ(6)および(7)の方が適当であったはずであることに留意されたい。微分時間 $RT2$ の決定についても同様の理由が当てはまる。したがって、微分時間 $RT$ は、増大転移または減少転移のいずれかで微分信号 $S'$ が表面 $16b$ から指定のゼロまで移動するのに必要な時間間隔に対応する所定の期間になる。

【0044】次に、これらのパラメータ $ST$ および $RT$ をその後エッチングすべき製品ウェハのエッチ終点判定基準としてコンピュータ36に入力する。エッチ終点に達すると、ただちにウェハ試験片のエッチングが停止し、ウェハ試験片はエッチング装置21から取り除かれる。 $TEOS$   $SiO_2$ 層15の残りの厚さが測定され、調整したストップ厚 $ST$ パラメータが要求される。ここでシステム20が較正され、そのロットの残りの製品ウェハを処理できる状態になる。それぞれの製品ウェハごとに、コンピュータは $ST$ パラメータによってエッチ終点を自動的に決定することができ、信号処理にとりかかる前に待たなければならない、時間経過周期 $t_0$ ( $RT$ と等しい)という遅延を把握する。この時間経過周期が経過した後、数値フィルタが有効になり、基本信号が正規化され、コンピュータは前述のように基本信号 $S1$ および $S2$ を適切に分析することができる。

【0045】B) 製品ウェハのエッチ・プロセスの監視  
所与の厚さまで正確にエッチングすることの難しさは図6に明確に示されている。同図は、図5から直接得たものである。図6から明らかなように、製品ウェハのエッチングは、プロセス変動による厚さの誤差 $\sigma$ の結果としてハッチ・ゾーン内の基本信号 $S1$ および $S2$ を表す曲線のどの点からでも始めることができる。

【0046】エッチ終点判定基準が前述のように決定されたと想定すると、図7の流れ図60は、その基礎にある2つの原理を示すために本発明の所与の厚さまたはストップ厚 $E_f$ まで誘電フィルムを低減するドライ・エッチングを監視するための方法の重要な処理ステップを示している。第1の原理は、 $SiO_2/Si_3N_4$ の境界面 $16a$ から $SiO_2$ 層15の残りの厚さを連続監視することであって、 $SiO_2$ 層15の上面 $16b$ からのエッチング深さを測定することではない。第2の原理は、その値がプロセス変動による厚さの誤差 $\sigma$ によって決まる少なくとも2種類の波長を使用することである。このよ

うに2種類の波長を使用することにより、厚さの誤差 $\sigma$ とスタック12の光学特性のばらつきの両方を除去することができ、特に、前記プロセス変動によって同様に引き起こされる可能性のある指定の波長と $SiO_2$ 層15の屈折率 $N$ との不適合を除去することができる。システム20の較正に使用するウェハ試験片と同じタイプの製品ウェハのエッチングを監視する重要なステップについて、図7を参照して以下に説明する。

【0047】システム20が較正されると、そのロットの第1の製品ウェハがエッチング装置21に投入される(ボックス61)。システムは前述のように準備され、ウェハは波長 $L1$ および $L2$ を有する放射線を含む光で照射される(ボックス62)。これらの波長 $L1$ および $L2$ はボックス63による指定の値を有する。次に、ボックス64が示すように、エッチ・プロセスが開始される。基本信号 $S1$ および $S2$ とそれぞれの微分信号 $S'1$ および $S'2$ がコンピュータによって生成される(ボックス65)。エッチ・プロセスが進行する間、コンピュータ36は、微分時間 $RT$ に等しい遅延を待ってから、基本／微分信号 $S1/S'1$ および $S2/S'2$ を分析する。したがって、それぞれの微分時間 $RT1$ および $RT2$ が経過するまで、コンピュータ36は前記信号対 $S1/S'1$ および $S2/S'2$ のグラフを描く。次にコンピュータは、ボックス66により各基本信号ごとにいくつかのステップにとりかかる(複数のステップが同時に行われる)。基本的には、所与の厚さ $E_f$ に対応する表面 $16c$ に達する前に微分信号 $S'1$ および $S'2$ の最後のゼロを検出するためにゼロの数 $X1$ および $X2$ をカウントする。次に、前述の選択テストに移行する。すなわち、どちらの対が最良であるかを判定できるように、最小期間(この場合は全周期)にわたって2対の信号 $S1/S'1$ および $S2/S'2$ を比較する。また、エッチング速度 $ER1$ および $ER2$ も計算する。2つのゼロ(1)と(1')のうちの早い方に達する前に、最も適切な信号／波長の組合せを選択し、指定の波長に応じて残りの時間 $dt1$ または $dt2$ を決定する。最良の信号対が $S1/S'1$ であると想定すると、ゼロ(1)に達した後、ただちにコンピュータは残りの時間 $dt1$ (前に計算したもの)を0までカウント・ダウンし、図3の線38を介してエッチング・プロセスを停止する。その結果、エッチ・プロセスはエッチ終点、すなわち、表面 $16c$ で正確に終了する。ボックス67で格納されたエッチ終点判定基準を使用してボックス66で実行されるこれらすべての操作については、以下に詳述する。

【0048】簡略化のため、さらに信号 $S1$ および $S'1$ を参照すると、図6から明らかなように、微分時間 $RT1$ が経過した後にコンピュータが最初に検出するゼロは、エッチングの開始点(ハッチ・ゾーン内のどこか)に応じて、ゼロ(5)またはゼロ(4)のいずれかになる。この不確かさはもはや問題ではない。というのは、

本発明の重要な特性により、プロセス変動による厚さの誤差 $\epsilon$ によって発生するすべての不都合が以下に立証するように除去されるからである。これは、 $L1 > L_{min}$ になるような波長 $L1$ と、 $ST1 = A1 \times 1 \div D1 = +4.37$ というストップ厚パラメータの成分 $A1$ の値を選択したことによる直接的な結果である。ここで図6に移行すると、製品ウェハが仕様の最大厚、すなわち $E + \epsilon$ になっている場合、起点（表面16b'で $t = 0$ ）からの時間軽視周期は、ゼロ（6）の直後に時間軸上の時間 $t'0$ に対応する。したがって、コンピュータが最初に検出するゼロは、コンピュータによってこのように識別される下降転移（ $A1 = +$ ）のゼロ（5）になる。コンピュータは、このゼロ（5）から4つのゼロ（ $X1 = 4$ ）を計算し、後者をカウントから除外しなければならないことを認識する。これに対して、製品ウェハが仕様の最小厚、すなわち $E - \epsilon$ になっている場合、時間軽視時間はゼロ（4）の直前の起点（表面16b'で $t = 0$ ）からの時間 $t''0$ に対応する。この場合、コンピュータは上昇転移で最初のゼロを検出するので、4つのゼロをただちにカウントし、ゼロ（4）をそのカウントに含めなければならないことを認識する。どちらの場合も、コンピュータが最初に検出し、カウントに考慮されるゼロは、微分時間 $RT1$ で示される時間軽視周期が経過したときに、ゼロ（4）になる。信号 $S2$ および $S'2$ にも同様の理由が当てはまる。したがって、波長 $L1$ および $L2$ を選択するために行った指定の選択により、時間軽視周期 $t0$ が厳密に1周期 $T1$ 内のゼロ（5）の周りに集中する。すなわち、 $T_{min}$ と等しい時間間隔 $t'0 \sim t''0$ は、図6から明らかなように周期 $T1$ より短い。この特徴は、前述の不確かさを高めるための決定的要因である。

【0049】 所望のエッチ終点でエッチ・プロセスを終了するためには、残りの時間 $dt$ の決定も必要である。したがって、残りの時間は、最後の極値から表面16cのエッチ終点に達するのに必要な時間である。次に、残りの時間 $dt$ には、エッチング速度 $ER$ の値を決定する必要がある。このエッチング残り時間 $dt$ は、 $dt = D / ER$ で示される。この場合、 $D$ はストップ厚 $ST$ パラメータから分かる。その結果、エッチ・プロセスが進行している間、数回の測定によって処理中の製品ウェハについて、エッチング速度 $ER$ が現場で正確に求められる。この値はリアルタイムで容易に求めることができないので、先行周期、たとえば、図6の信号 $S'1$ のゼロ（4）と（2）との間の平均エッチング速度値によって概算する。 $S'1$ 信号の2つの連続するゼロは $L1 / 4 \times N$ で示される厚さ低減量だけ分離されているので、それぞれのエッチング速度値 $ER1(1)$ および $ER1(2)$ を決定するために、第1の測定がゼロ（4）と（3）の間で行われ、次にゼロ（3）と（2）の間で行われる。それぞれの測定が半周期について行われるの

で、1周期 $T1$ 内で2回の測定が行われる。現在までのところ、エッチング速度測定を行うための最小時間は、信頼できる結果を達成するには半周期であるようだ。上限は、指定のゼロから前記所与の厚さまで移動するのに必要な時間によって決まる。このケースでは、全周期が最適化時間であるようで、エッチング速度 $ER1$ は $ER1 = (ER1(1) + ER1(2)) / 2$ で示される。 $ER2$ の決定についても同様の理由が当てはまる。図6に関連して示されている実際の実験では、 $ER1 = 140 \text{ nm/分}$ 、 $ER2 = 145 \text{ nm/分}$ であることが分かっている。

【0050】 処理中の製品ウェハの特定の屈折率 $N$ にどの基本信号対が最も適合しているかを判定するために、前述のように、一方ではゼロ位置（4）と（3）の間、もう一方ではゼロ位置（3）と（2）の間の同一の2つの半周期間隔で選択テストを実行することができる。基本的には、それぞれの信号対ごとに、2つのカテゴリのテスト基準を採用した。第1のカテゴリは信号対 $S / S'$ を示す曲線の対称性に関連し、第2のカテゴリはエッチング速度値 $ER$ に関連する。どちらを選択すべきかを判定するための分析用として信号対 $S1 / S'1$ と $S2 / S'2$ との比較はコンピュータ36によって行われるが、これは、エキスパート・システムまたはニューロン・ベースのプロセッサの使用を含む、いくつかの方法で実施することができる。ここでは、3つの対称性関連テストを必要とする、第1のカテゴリの基準の実施について説明する。便宜上、これらのテストは、信号対 $S1 / S'1$ に関して説明する。これらのテストは、基本信号 $S1$ の2つの連続する極値での振幅 $i1$ と $i2$ （これらは信号強度に直接関連する）、ゼロ（4）と（3）との間およびゼロ（3）と（2）との間の微分信号 $S'1$ の部分について2つの連続するゼロの間の距離とアーチ表面を測定することから構成される。この結果は、同一であるかどうかを判定するために比較される。両者が近ければ近いほど、信号対 $S1 / S'1$ の対称性が優れている。第2のカテゴリのテストは、同一期間中に異なるエッチング速度測定を行うことにあり、その値が時間につれて大幅に変化しないことを検査する。コンピュータ36がエッチング速度値の大幅な変化を検出すると、対応する信号対と、したがって対応する波長がただちに却下されるはずである。信号対 $S2 / S'2$ についても同様の選択テストと分析が行われる。これらのすべてのテストに関して許容される変動がコンピュータに入力される。他のカテゴリのテストも考えられる。

【0051】 ゆえに、所定の基本信号について結果が受け入れられないときは、いつでも後者がコンピュータによって却下される。最良の基本信号と、したがって対応する波長がボックス68により選択される。信号 $S1$ と $S2$ は極めて理想的な形状で示されているので、前述の選択基準を図6から明らかにすることはできない。この

点については、図8および図9に関連すれば、さらによく理解される。これらの図は、本発明の監視方法により製品ウェハのエッチングを監視している間に作成した実際のコンピュータ・プリントアウトである。

【0052】図8および図9は、コンピュータ36（およびRIEツールを使用するオペレータ）が使用する何らかの製品ウェハのエッチ・プロセス中に得られた信号の波形を示している。ただし、これらの実験に使用した製品ウェハの公称厚が650nmではないことに留意されたい。

【0053】ここで図8を参照すると、同図には、エッチ・プロセスが停止する数秒前の時間tにおける2つの基本信号S1およびS2を示す曲線が示されている。図8から明らかなように、信号S1およびS2は、スタック12の光学特性、特に対象となる製品ウェハのSiO<sub>2</sub>層15の屈折率Nに完全に適合している。基本信号S1またはS2のいずれかが適切であり、したがって、波形L1またはL2のいずれかを選択できることは明らかである。判断を行う前に信号S1とS2の両方について時間t1（2つの経過時間t1およびt'1のうちの遅い方）で選択テストが終了することが好ましい。これに対して、図9は、前記スタック12および前記屈折率Nとは完全に不一致の基本信号S2を示している。この場合、波長L2は明らかに却下しなければならない。ところで、図9の信号S1とS2との比較から明らかなように、前述の第1のカテゴリの基準（対称性）に関する限り、信号S2は良好な周期性が欠落しているだけでなく、強度も乏しいことは明らかである。また、時間の関数としてその値が許容できないほど変動するので、信号S2もエッチング速度テストに不合格になるはずである。

【0054】以下の説明のために、図6の信号S1がコンピュータによって選択されたと想定する。これで、コンピュータはボックス69によりエッチング操作を終了することができる。

【0055】残りの時間dt1は、曲線S'1のゼロ（1）に対応する曲線S1の最後の極値から表面16c（エッチ終点）まで移動するのに必要な時間に相当する。したがって、エッチング中の製品ウェハについて前に計算したエッチング速度値ER1を把握している必要がある。残りの時間dt1はD1/ER1になり、D1はストップ厚パラメータST1から得られる。さらに上記の数値を使用すると、D1=37nmになり、したがって、dt1=37×60/140=16秒になる。信号S2の場合は、D2=47nm、ER2=145nmによって、対応する残りの時間値がdt2=19秒で示されているはずである。この時間が経過すると、ボックス70が示すようにエッチ・プロセスが停止する。これは、表面16cに達し、残りのSiO<sub>2</sub>層15の実際の厚さが所望の値Efに非常に近いことを意味する。

【0056】説明の簡略化のため、ウェハ試験片を使用してエッチ終点判定基準を決定する予備ステップを分離して、本発明の監視方法を説明してきたが、ウェハ試験片は処理すべきロットで選択した製品ウェハでもよいことに留意されたい。ただし、前述のように製品ウェハを無駄にしないために過剰にエッチングしないよう、注意が必要である。

【0057】この技術によって前記光学特性のばらつきなしにスタック12を製造できる場合、あるいはその目的のために専用現場を特に使用する場合、前述のように、2種類ではなく1種類の波長を使用することも考えられる。

【0058】本発明の監視方法には、いくつかの明確な利点がある。まず第1に、SiO<sub>2</sub>層15が非常に正確に所与の厚さまで（先行技術で実施されている所与の深さまでではない）エッチ・ダウンされる。さらに、本発明の監視方法では、外部での（ex-situ）測定が不要であり、処理ステップ数が低減され、そのため、人間のエラーという危険も低減されるので、処理時間を大幅に短縮することができる。また、処理時間も最適化され、前記所与の厚さに達するのに本当に必要な時間と等しくなる。また、最終的に得られる残りのSiO<sub>2</sub>層15の再現性が良好である結果、再加工も大幅に低減される。その直接の結果として、汚染が減少し、製造歩留まりが改善される。大規模サイズの光線と組み合わせて少なくとも2種類の指定の波長を使用することにより、スタック12の光学特性のばらつきを取り除くことができる。しかし、前述のように、所与のケースでは小規模サイズの光線と1種類の指定の波長だけを使用することも考えられる。最後に、エッチング速度の測定は、処理中の製品ウェハに関する正確な値を現場ならびにオンラインで提供するだけでなく、エッチング・プロセス・パラメータのふらつきを直接制御することができ、それにより、エッチング装置21の高機能メンテナンスのための貴重な情報が提供される。

【0059】まとめとして、本発明の構成に関して以下の事項を開示する。

【0060】（1）基板上に形成した誘電フィルムを有する構造をエッチングし、プロセス変動による公称厚Eと屈折率Nの誤差がどのようなものであっても、前記誘電フィルムの所与の厚さEfに達すると前記エッチングを自動的に終了することのできるエッチング・システムにおいて、（a）のぞき窓を有し、エッチ処理のために前記構造を受け入れるエッチ処理室と、（b）4×N×e（ただし、eは厚さの誤差である）に等しい最小値より大きい少なくとも2種類の波長を含む光を発生する光源手段と、（c）前記のぞき窓からほぼ直角入射角で前記のぞき窓を介して前記構造の表面を照射するために前記光源手段からの光を移送し、前記構造から反射した光を集める光学手段と、（d）前記光学手段に接続され



て、各々の前記波長について、反応時間につれて変動する前記反射した光の強度に対応するアナログ干渉信号に変換する分光計手段と、(e) 信号処理／分析手段とを含み、前記信号処理／分析手段は、前記アナログ信号からデジタル基本信号を生成するために前記アナログ干渉信号をデジタル化する手段と、エッチング・プロセスが始まってから所定の時間経視周期または評価時間後に、前記基本信号の指定の極値を定義する、前記基本信号の分析を開始する手段と、前記指定の極値から所与の厚さ  $E_f$  が達成される直前の前記基本信号の最後の極値までの極値の数をカウントする手段と、前記基本信号の前記最後の極値と前記所与の厚さとの間の距離を決定する手段と、前記基本信号によってエッチング速度を現場ならびにオンラインで測定する手段と、前記波長のどちらが前記誘電フィルムの組成に最も適合しているかを識別するために前記基本信号の波形の対称性と前記エッチング速度の変動を分析し、対応する基本信号／波長の組合せを選択する手段と、前記選択された基本信号について残りの時間を決定する手段と、前記残りの時間が経過したときに前記エッチングを終了する手段とを含むことを特徴とする、システム。

(2) 前記信号処理／分析手段で行われる所与の操作が、数値ろ波によって前記基本信号から得られる微分信号について行われることを特徴とする、上記(1)に記載のシステム。

(3) 前記光源手段が複数波長光源から構成されることを特徴とする、上記(1)に記載のシステム。

(4) 前記複数波長光源が、水銀ランプ、ハロゲン・ランプ、キセノン・ランプを含む多色光源の群から選択されることを特徴とする、上記(3)に記載のシステム。

(5) 前記複数波長光源が、それぞれが所定の波長を有する複数の単色レーザから構成されることを特徴とする、上記(3)に記載のシステム。

(6) 前記光学手段が、本質的に集光レンズから構成される投射光学系を含むことを特徴とする、上記(1)に記載のシステム。

(7) エッチング装置ののぞき窓が設けられた処理室内に置かれた構造のエッチングを監視する装置であって、前記構造が基板上に形成した誘電フィルムを有し、プロセス変動による公称厚  $E$  と屈折率  $N$  の誤差がどのようなものであっても、前記誘電フィルムの所与の厚さ  $E_f$  に達すると前記エッチングを自動的に終了するための装置において、前記装置が (a) その値が  $4 \times N \times e$  (ただし、 $e$  は厚さの誤差である) に等しい最小値より大きい少なくとも2種類の波長を含む光を発生する光源手段と、(b) 前記のぞき窓からほぼ直角入射角で前記構造の表面を照射するために前記光源手段からの光を移送し、前記構造から反射した光を集める光学手段と、

(c) 前記光学手段に接続されて、前記波長のそれぞれについて、反応時間につれて変動する前記反射した光の

強度に対応するアナログ干渉信号に変換する分光計手段と、(d) 信号処理／分析手段とを含み、前記信号処理／分析手段が、前記アナログ干渉信号からデジタル基本信号を生成するために前記アナログ干渉信号をデジタル化する手段と、エッチング・プロセスが始まってから所定の時間経視周期または評価時間後に、前記基本信号の指定の極値を定義する、前記基本信号の分析を開始する手段と、前記指定の極値から所与の厚さ  $E_f$  が達成される直前の前記基本信号の最後の極値までの極値の数をカウントする手段と、前記基本信号の前記最後の極値と前記所与の厚さとの間の距離を決定する手段と、前記基本信号によってエッチング速度を現場ならびにオンラインで測定する手段と、前記波長のどちらが前記誘電フィルムの組成に最も適合しているかを識別するために前記基本信号の波形の対称性とエッチング速度の変動を分析し、対応する信号／波長の組合せを選択する手段と、前記選択された基本信号について残りの時間を決定する手段と、前記残りの時間が経過したときに前記エッチング処理を終了する手段とを含むことを特徴とする、装置。

(8) 信号処理／分析手段で行われる所与の操作が、数値ろ波によって基本信号から得られる微分信号について行われることを特徴とする、上記(7)に記載の装置。

(9) 前記光源手段が複数波長光源から構成されることを特徴とする、上記(7)に記載の装置。

(10) 前記光学手段が、本質的に集光レンズから構成される投射光学系を含むことを特徴とする、上記(7)に記載の装置。

(11) 基板上に形成した公称厚  $E$  と屈折率  $N$  の誘電フィルムから構成される構造のドライ・エッチングのために、プロセス変動による厚さの誤差  $e$  と屈折率の誤差  $n$  がどのようなものであっても、前記誘電フィルムの所与の厚さ  $E_f$  におけるエッチ終点判定基準を決定する方法において、(a) エッチング装置ののぞき窓が設けられた処理室内に前記公称厚  $E$  を有する前記構造を置くステップと、(b) その値が  $4 \times N \times e$  (ただし、 $e$  は仕様に表示された構造の厚さの誤差である) に等しい最小値より大きい少なくとも2種類の波長を含む光によって前記構造の表面を照射するステップと、(c) 各々の前記波長について、分光計手段に反射した光を印加し、反応時間につれて変動するその強度に対応するアナログ干渉信号に変換するステップと、(d) 前記アナログ干渉信号からデジタル基本信号を生成するために前記アナログ干渉信号をデジタル化するステップと、(e) 前記基本信号を分析して、評価時間パラメータおよびストップ厚パラメータから構成される前記エッチ終点判定基準を作成するステップとを含み、

[1] 前記評価時間パラメータは、前記基本信号を正規化するのに必要な初期時間と、どの基本信号と波長の組合せが最も適切かを判定するための選択テストと前記所



与の厚さが達成される前のエッチング速度測定とを実行するために必要な終了時間のいずれよりも長く、かつ、前記基本信号の指定の極値に相関し、

〔2〕前記ストップ厚パラメータは、基本信号が極値に達する方法に関連する第1のデータ(A)と、前記指定の極値と前記所与の厚さが達成される前の最後の極値の間の極値の数に関連する第2のデータ(X)と、前記最後の極値と前記所与の厚さとの距離を示す第3のデータ(D)という3つのデータ(A X D)から構成されることを特徴とする方法。

(12) 前記基本信号について行われる所与の操作が、数値ろ波によって前記基本信号から得られる微分信号について行われることを特徴とする、上記(11)に記載の方法。

(13) 基板上に形成した公称厚Eと屈折率Nの誘電フィルムを有する半導体ウェハのドライ・エッチングであって、プロセス変動による厚さの誤差 $\epsilon$ と屈折率の誤差 $n$ がどのようなものであっても、前記誘電フィルムの所与の厚さE fにおけるドライ・エッチングを監視する方法において、(a)製品ウェハと同じ特性を有するウェハ試験片について、評価時間パラメータおよびストップ厚パラメータから構成されるエッチ終点判定基準を作成するステップと、(b)エッチング装置ののぞき窓が設けられたエッチ処理室内に製品ウェハを置くステップと、(c)その値が $4 \times N \times \epsilon$ に等しい最小値より大きい少なくとも2種類の波長を含む光によってウェハを照射するステップと、(d)各々の前記波長について、反射した光を分光計手段に印加し、反応時間につれて変動するその強度を対応するアナログ干渉信号に変換するステップと、(e)前記アナログ干渉信号からデジタル基本信号を生成するために前記アナログ干渉信号をデジタル化するステップと、(f)前記評価時間が経過すると、指定の極値から所与の厚さが達成される直前の最後の極値まで前記基本信号ごとの指定の数の極値をただちにカウントするステップと、(g)前記基本信号によってエッチング速度を現場ならびにオンラインで測定し、前記波長のどちらが前記誘電フィルムの組成に最も適合しているかを識別するために前記基本信号の波形の対称性と前記エッチング速度の変動を分析し、対応する基本信号/波長の組合せを選択するステップと、(h)前記最後の極値のうちの最も早いものがエッチ終点に達する前に前記選択された基本信号について残りの時間を決定するステップと、(i)前記残りの時間が経過したときにエッチング処理を終了するステップとを含むことを特徴とする方法。

【図面の簡単な説明】

【図1】その厚さに誤差 $\epsilon$ が生じやすい誘電(T E O S Si O<sub>2</sub>)フィルムを所与の厚さまで低減して平坦化するステップで製作された絶縁トレンチが設けられたシリコン構造の概略図であって、標準の時間ベースの技法

または干渉計による技法を使用したときに残りの層の厚さに固有の誤差 $\epsilon$ が結果的に発生することを示す図である。

【図2】(a)および(b)を含み、誘電フィルムの屈折率が指定の波長に十分適合している場合または適合していない場合に干渉計から得られる干渉信号をそれぞれ示す図である。

【図3】垂直入射角でウェハの大きい面積を照射する多色水銀ランプと、対応する干渉信号を発生するようにそれぞれが指定の波長に適合している2つの分光計とを含む、本発明の装置の概略図である。

【図4】図3の装置の視準セクションの拡大図である。

【図5】それぞれの指定の波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ について分光計の出力でウェハ試験片(理想的な製品ウェハ)について得られた信号S 1およびS 2と、数値ろ波によってそれからそれぞれ微分した信号S' 1およびS' 2の波形の概略表現を示す図である。

【図6】厚さの誤差 $\epsilon$ を考慮したときの図5の信号を示す図である。

【図7】本発明により基板上に形成した誘電フィルムを所与の厚さまで低減するドライ・エッチングを監視する方法の重要ステップを示す流れ図である。

【図8】両方の波長が誘電フィルムの屈折率Nに適合している場合の信号S 1/S' 1とS 2/S' 2の実際の波形を示す図である。

【図9】信号S 2の波長が前記屈折率Nに適合していない場合の信号S 1/S' 1とS 2/S' 2の実際の波形を示す図である。

【符号の説明】

20 エッチングおよび監視システム

21 ドライ・エッチング装置

22 エッチ処理室

23 平面形状のサセプタ

24 シリコン・ウェハ

25 RF電源

26 のぞき窓

27 プラズマ

28 監視装置

29 光源

30 光ケーブル

31 コレクタ・レンズ

32 光ケーブル

32A 光ケーブル

32B 光ケーブル

33A 分光計

33B 分光計

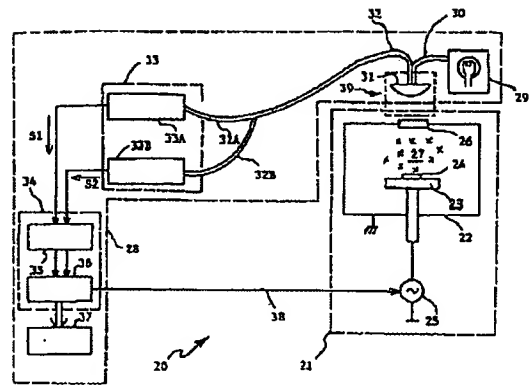
34 処理/分析ユニット

35 ユニット

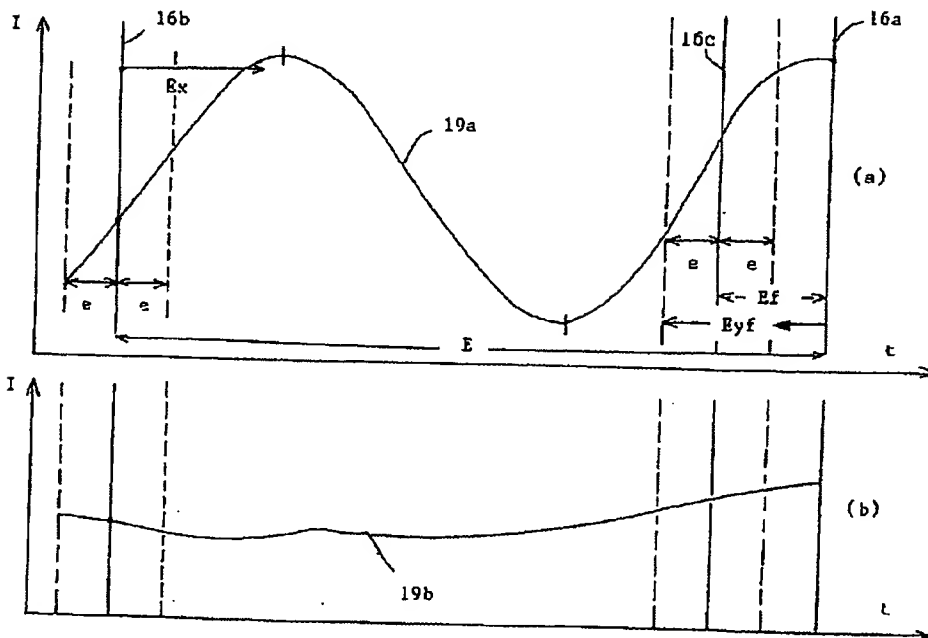
36 処理/分析ユニット

37 プリンタ

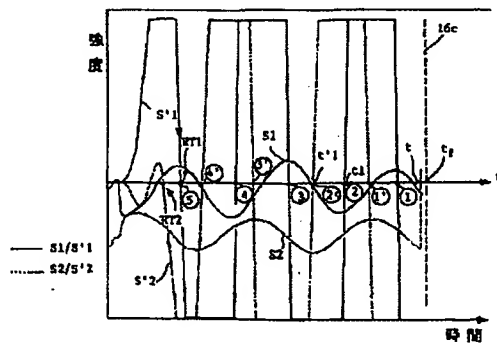
【圖 3】



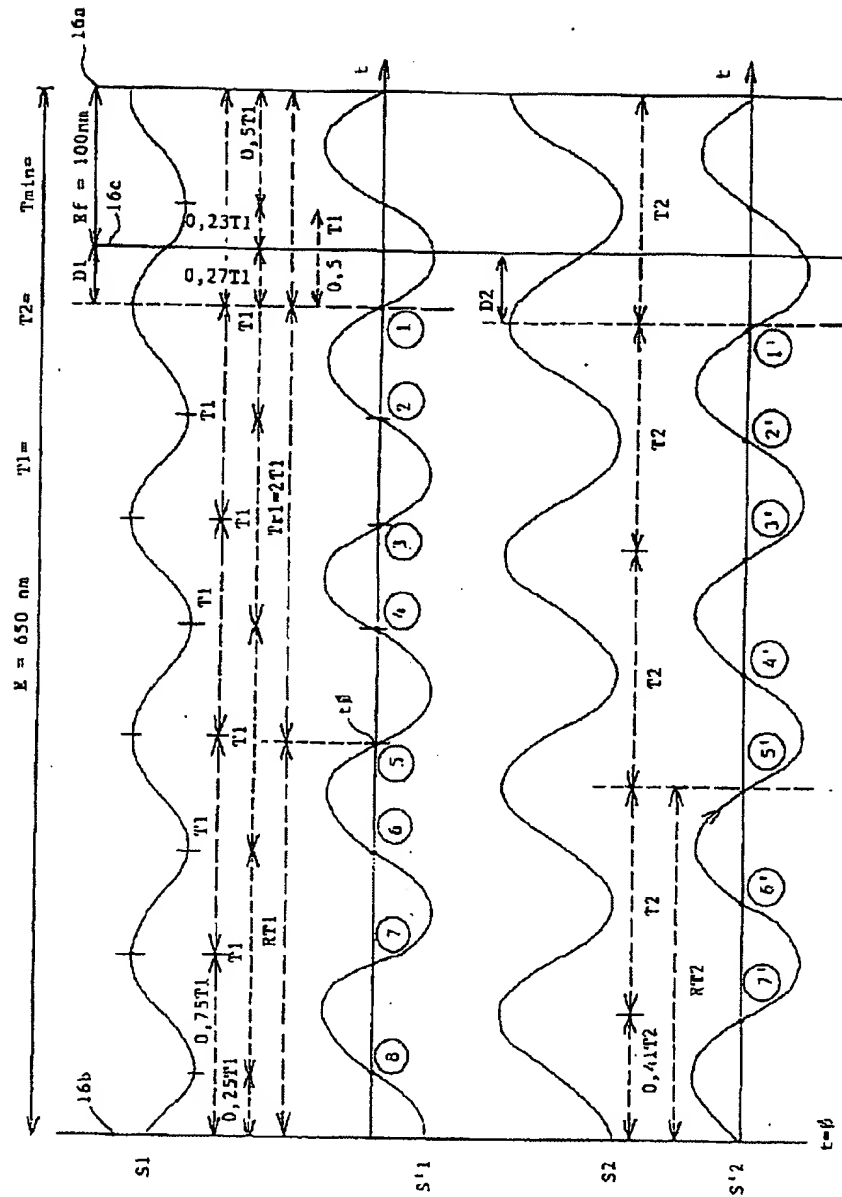
【图2】



【图 8】

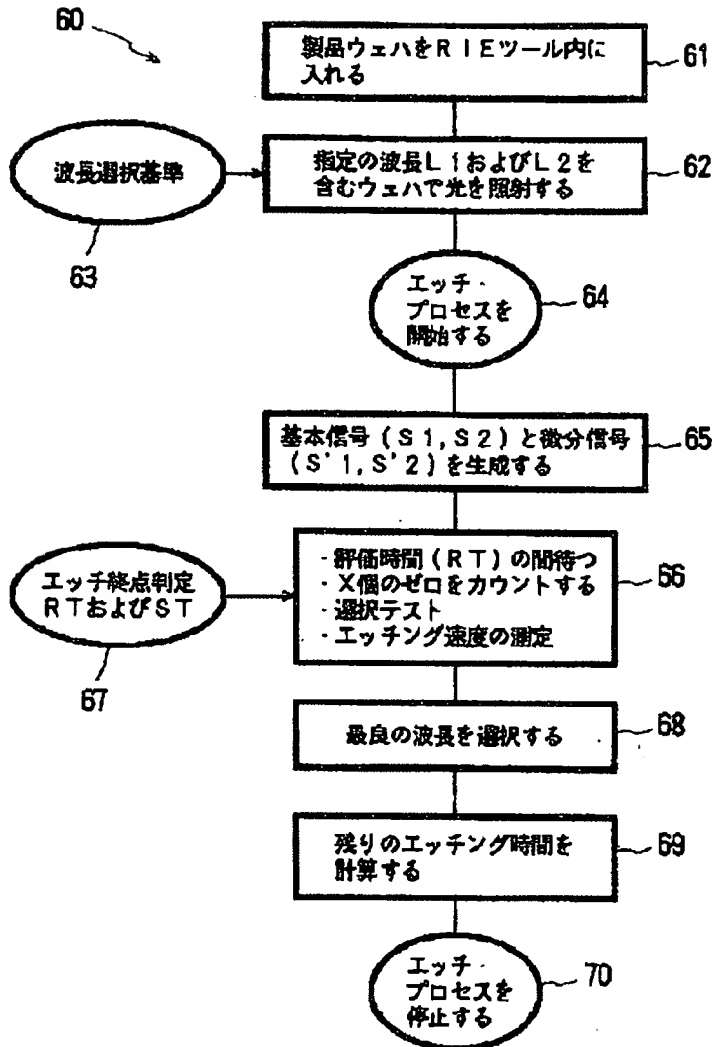


【図5】

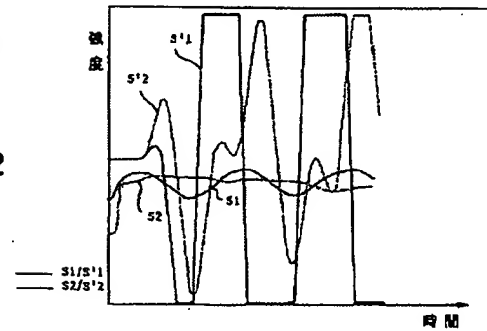




【図7】



【図9】



フロントページの続き

(72) 発明者 フィリップ・コロネル  
フランス91300 マッシー リュ・ノルマ 40  
ンディ・ニーマン 23

(72) 発明者 ジャン・カントループ  
フランス91310 モンレリー アレ・デ・  
ポミエ18